

довали своему девизу: «Не словом, но делом». Прославившись не только как промышленники, но и как крупнейшие меценаты и коллекционеры своего времени, они оставили о себе добрую память. Демидовские миллионы были потрачены не зря. Наследие этой династии огромно, уникально и нуждается в тщательном изучении и сохранении для потомков.

*Кружалов А.В., Шульгин Б.В.
(Екатеринбург)*

УРАЛЬСКАЯ НАУЧНАЯ ШКОЛА ПО ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ И РАДИЦИОННОЙ ФИЗИКЕ ТВЕРДОГО ТЕЛА

Несмотря на то, что явление люминесценции известно человеку с древних времен, ее систематическое изучение было начато лишь в XIX в. Значительный вклад в исследование самой природы люминесценции – «холодного» свечения, практического применения этого явления в науке, технике и быту принадлежит российским ученым. Особая, историческая роль принадлежит С.И.Вавилову – академику, президенту АН СССР. Установив в 1924 г. закон зависимости выхода фотолюминесценции от длины волны возбуждающего света (закон Вавилова), организовав талантливый научный коллектив по изучению фундаментальных и прикладных проблем люминесценции, С.И.Вавилов становится признанным авторитетом мирового уровня.

На Урале люминесценцией до 50-х г. XX в. практически не занимались. Истоки этого направления уходят в далекие 1937–1938 гг. Они связаны с именами Филиппа Филипповича Гаврилова и Сергея Ивановича Вавилова.

Ф.Ф.Гаврилов родился в 1918 г. в деревеньке Песочно-Дубровка Томской области. Окончив среднюю школу в Томске, он поступил в университет. Будучи студентом Томского университета, занимался методикой регистрации затухания фосфоресценции кристаллофосфоров в студенческом научном кружке под руководством профессора В.М.Кудрявцевой. За успешную работу поощряется командировкой в Ленинград в Государственный оптический институт (ГОИ) на преддипломную практику в лабораторию люминесценции, которой руководил С.И.Вавилов. Дипломирование в ГОИ стало отличной школой для молодого специалиста. Исследование закона затухания фосфоресценции замороженных органических соединений (бензол, толуол и др.) было проведено Ф.Ф.Гав-

риловым блестяще. Готовилась статья к печати, но помешала война.

Вернувшись осенью 1945 г. в Томск, в ту же лабораторию люминесценции, Ф.Ф.Гаврилов начал самостоятельную исследовательскую работу. Первая статья «Температурное гашение фотолюминесценции окиси цинка» была опубликована в ДАН СССР (1947 г., т. 57, № 1) по представлению академика С.И.Вавилова. К 1949 г. было опубликовано уже 12 статей. Но опять мобилизация. В атомную промышленность. С 1949 по 1959 г. путь в открытую печать был закрыт. Кандидатская диссертация (1955 г.) была совершенно закрытой и из области, не связанной с люминесценцией. Тем не менее участие в термоядерном проекте дало Ф.Ф.Гаврилову не только опыт, успехи и награды, но и уникальный богатый объект для дальнейшего исследования – гидрид лития. Еще работая на закрытом объекте, он начал заниматься изучением его люминесценции. Опубликовать эти результаты стало возможным позже. Лишь в 1959 г. в журнале «Оптика и спектроскопия» вышла статья «Люминесценция гидрида лития». Так Ф.Ф.Гаврилов вернулся к любимой научной тематике. В этом же году по рекомендации Свердловского обкома партии, он был избран заведующим кафедрой экспериментальной физики УПИ им. С.М.Кирова.

Ф.Ф.Гаврилову пришлось начинать исследования практически с нуля. Объектами исследования стали сульфид цинка (ZnS), гидрид лития (LiH). Классический кристаллофосфор ZnS снова по особому «засверкал» на научном горизонте благодаря Ф.Ф.Гаврилову и харьковским химикам, научившимся выращивать крупные прозрачные монокристаллы. Работа с ними была поручена ассистенту В.С.Безелю, который успешно ее завершил защитой кандидатской диссертации. Впоследствии В.С.Безель стал доктором биологических наук. Параллельно с ZnS была организована работа по изучению LiH , который предвещал стать неплохим нейтронным сцинтиллятором. Зачинателями этой работы были аспирант Б.Л.Двинянинов и студент Б.В.Шульгин, почти одновременно защитившие кандидатские диссертации. В 1970 г. Ф.Ф.Гаврилов успешно защитил докторскую диссертацию «Исследование люминесценции и радиационной устойчивости монокристаллов гидрида лития и сульфида цинка». В дальнейшем работы по люминесценции развивались на Урале по трем направлениям, связанным с тремя классами соединений: (1) сульфид цинка и другие соединения $A^{IV}B^{VI}$, (2) гидрид и дейтерид лития и (3) оксидные системы.

Исследование классического сульфида цинка и других соединений типа $A^{II}B^{VI}$ продолжили И.Т.Путиев, В.П.Панов, А.П.Оконечников, А.Тухлебаев, В.Н.Ченец, В.М.Лахов, М.В.Жуковский, И.Н.Кассандров и др. Особый вклад в исследование этих объектов внес А.П.Оконечников, который обобщил полученные результаты и успешно защитил в 1996 г. докторскую диссертацию.

Исследованием люминесценции гидрида лития занимались в мире лишь две школы: Претцеля (США) и Гаврилова (СССР). Ф.Ф.Гаврилов со своими учениками уделили особое внимание росту монокристаллов LiH. Будучи простейшим по химическому составу, электронной и кристаллической структуре, он оказался капризным и сложным при выращивании и изучении его свойств. Из-за экстремально высокой способности гидридов щелочных металлов реагировать с другими веществами, кристаллы LiH в естественном виде в природе не встречаются, а получение искусственных кристаллов LiH представляет собой трудную задачу. Только в 1957 г. Претцель с сотрудниками впервые сообщил о выращивании монокристаллов гидрида лития методом Бриджмена-Стокбаргера и провел первые исследования радиационных эффектов в этом материале. Им также были изучены основные характеристики фононного спектра этих кристаллов.

Ф.Ф.Гавриловым практически синхронно с Претцелем было начато исследование люминесценции и процессов окрашивания порошков и мелких кристаллов гидрида лития, но первая публикация Ф.Ф.Гаврилова появилась только в 1959 г. В 1965–1968 гг. в Уральском политехническом институте была разработана методика выращивания и отжига крупных совершенных кристаллов LiH и LiD. Тогда же в УПИ и несколько позже в институте физики Академии наук Эстонии начались детальные исследования электронных возбуждений, люминесценции и процессов распада экситонов с рождением дефектов в кристаллах LiH.

Именно в 70-е гг. в творческий коллектив по исследованию гидрида лития активно включились эстонские физики во главе с академиком Ч.Б.Лушиком. В этот период центр изучения LiH окончательно переместился в СССР, а полученные результаты стали приоритетными. Впоследствии докторские диссертации по гидриду лития защитили С.О.Чолах и Г.И.Пилипенко. Важным итогом работ школы Ф.Ф.Гаврилова стала монография Ч.Б.Лушика, Ф.Ф.Гаврилова, Г.С.Завта, В.Г.Плеханова и С.О.Чолаха «Электронные возбуждения и дефекты в кристаллах гидри-

да лития» (М.: Наука, 1985. Науч. ред. Б.В.Шульгин). Эта монография отразила всю историю исследования гидроксида лития.

Третье – «оксидное» – направление связано с именем Б.В.Шульгина. Ещё во время работы над кандидатской диссертацией ему стало «тесно» в рамках модельного объекта LiH. Он понимал, что будущее за многокомпонентными оксидными и фторидными сцинтилляционными кристаллами. Первыми такими объектами стали цирконосиликаты. Начало широкомасштабных исследований сложных оксидов совпало с лазерным бумом шестидесятых годов. Совместно со своими учениками Б.В.Шульгин систематически исследовал огромный класс сложных оксидов, активированных редкоземельными элементами и переходными металлами. Наряду с экспериментальными подходами, Б.В.Шульгин стал широко использовать квантово-химические методы расчета. Так на кафедре экспериментальной физики появилось теоретическое научное направление, которое подхватил и возглавил В.А.Лобач, а затем А.Б.Соболев, ставшие впоследствии докторами физико-математических наук. А.Б. Соболев с 1998 г. возглавляет кафедру высшей математики УГТУ–УПИ, а в 2004 г. назначен проректором университета по учебной работе.

Под руководством Б.В.Шульгина предложены новые классы оптических детекторов с рекордными параметрами, активные среды квантовой оптики, оптоэлектронные устройства (более 160 авторских свидетельств и патентов на изобретения), опубликован ряд монографий. В течение четырнадцати лет, заведая самой большой кафедрой института, Шульгин Б.В., стал общепризнанным ученым с мировым именем. В 2000 и 2001 гг. Б.В.Шульгин дважды стал лауреатом премии им. И.И.Ползунова, а за разработку патента на волоконно-оптический сцинтиллятор награжден в 2001 г. Почетным дипломом и Золотой медалью Брюссельской международной выставки изобретений и инноваций.

В семидесятые годы в научном направлении Гаврилова-Шульгина акценты стали смещаться в область радиационного материаловедения. Это определилось тем, что главным лимитируемым фактором ядерных и термоядерных технологий, военной и другой специальной техники стали материалы, способные работать в экстремальных условиях (высокие температуры, большие радиационные, механические и др. нагрузки). Под руководством А.В.Кружалова начали исследоваться бериллий-содержащие кристаллы, ортогерманат висмута и другие материалы, отвечающие этим требованиям. Новые задачи, новые материалы потребо-

вали новых экспериментальных подходов, обновления парка экспериментальной техники кафедры, расширения научных связей с отечественными и зарубежными коллегами. В этот период силами всего физтеха на кафедре была построена гелиевая криогенная станция (начальник штаба стройки аспирант М.В.Василенко). Совместно с институтом ядерной физики СО РАН (г. Новосибирск) создается уникальный канал ВУФ – спектроскопии на накопителе синхротрона. Под руководством А.В.Кружалова совместно с вычислительным центром УПИ реализуется проект по созданию, первой в ту пору в России, автоматизированной системы научных исследований радиационно-оптических свойств твердых тел. Создается комплекс термоактивационной спектроскопии в сочетании с методами электронного парамагнитного резонанса и импульсной абсорбционной спектроскопии и многое другое. Огромную роль в создании атмосферы активного поиска, увлеченности и коллективизма сыграли зимние школы по радиационной физике, которые проводились кафедрой в восьмидесятые годы. Наряду с Б.В.Шульгиным и А.В.Кружаловым, основу этого научного направления составили В.А.Лобач, А.Б.Соболев, В.А.Пустоваров, В.Г.Мазуренко, Л.В.Викторов, В.А.Петров, С.В.Горбунов, В.Ю.Иванов, И.Н.Огородников, А.Р.Волков, А.Ю.Кузнецов, К.В.Баутин, О.В.Рябухин.

В настоящее время общепризнанным и приоритетным является цикл работ по созданию и исследованию новых сцинтилляционных материалов, выполняемых под руководством профессора Б.В.Шульгина. Результаты исследования электронных возбуждений, люминесценции и дефектообразования оксида бериллия под руководством профессора А.В.Кружалова также являются приоритетными в мировой науке, написан раздел (совместно с Б.В.Шульгиным) для монографии с международным авторским коллективом: D.R.Vij, Editor/ Luminescence and related properties of II–VI semiconductors. N.Y., USA.: Nova Science Publisher (1998, P.341–362).

Научная школа Ф.Ф. Гаврилова продолжает развиваться. Пионерными работами стали исследования электронных возбуждений, люминесценции и радиационного дефектообразования в нелинейных кристаллах под руководством д.ф.-м.н. А.В.Кружалова и к.ф.-м.н. И.Н.Огородникова. Теоретической группой (д.ф.-м.н. А.Б.Соболев, д.ф.-м.н. А.Н.Вараксин, к.ф.-м.н. А.Ю.Кузнецов) продолжен цикл работ, посвященный исследованию электронной структуры точечных дефектов в сложных оксидных диэлектриках и полупроводниках. Кроме перечисленных направлений, самостоя-

тельно о себе уже заявили д.ф.-м.н. В.А.Пустоваров и к.ф.-м.н. В.Ю.Иванов, исследуя динамику электронных возбуждений в сложных оксидах с помощью синхротронного излучения. В фундаментальном плане приоритетными по важности стали работы в области вакуумной ультрафиолетовой спектроскопии, выполняемые профессором В.А.Пустоваровым.

Ф.Ф.Гаврилов явился «крестным отцом» ряда новых научных направлений на физико-техническом факультете УПИ. Так его аспирант, ныне профессор, зав. кафедрой ФХМА В.Н.Музгин является ведущим ученым России в области фундаментальных исследований спектральных методов анализа и их метрологического обеспечения. Особо следует сказать о роли Ф.Ф.Гаврилова в судьбе профессора В.С.Кортова. В 1963 г. известный ученый-металловед И.Н.Богачев предложил Ф.Ф.Гаврилову сотрудничество. Надо было решить сложную задачу экзoeлектронной эмиссии (ЭЭЭ) для изучения явления кавитации. Ф.Ф.Гаврилов привлек к решению этой проблемы молодого выпускника кафедры В.С.Кортова. За первое десятилетие ему удалось решить не только эту частную задачу, но и создать лабораторию экзoeлектронной эмиссии и заявить о себе как крупном учёном, руководителе нового научного направления. В 1976 г. В.С.Кортов защитил докторскую диссертацию, расширил область применения метода ЭЭЭ на радиационную физику твердого тела, развил работы по ее практическому использованию. Естественным развитием крепнувшей научной школы стало создание в УПИ в 1983 г. на базе лаборатории ЭЭЭ новой кафедры – физических методов и приборов контроля качества, которую возглавил профессор д.т.н. Кортов В.С.

В настоящее время В.С.Кортов – крупный ученый в области радиационной физики твердого тела, руководитель созданной им новой научной школы термолюминесцентной дозиметрии. Трудно найти в настоящее время предприятие Минатома РФ, где бы ни была внедрена термолюминесцентная система индивидуального дозиметрического контроля, разработанная под руководством В.С.Кортова.

За сорокалетнюю историю школа Ф.Ф.Гаврилова взрастила более 90 кандидатов и 15 докторов наук. Сотрудниками школы опубликованы сотни научных статей, 12 монографий, получено около 200 авторских свидетельств и патентов на изобретения, разработаны новые однокристалльные и комбинированные радиационные детекторы, в том числе волоконно-оптические детекторы нового поколения и тонкослойные сцинтилляционные детекторы на центрах окраски.

Несмотря на объективные трудности 90-х гг. XX в., научное направление Ф.Ф.Гаврилова продолжает развиваться. Этому способствует (особенно после распада СССР) более тесное и конструктивное объединение с Томской и Кемеровской школами, коллаборация с ведущими европейскими синхротронными центрами, и, конечно, дружная, плодотворная работа коллектива. Жизненные реалии сместили акценты с преимущественно фундаментальных исследований на прикладные. На кафедре создана отраслевая лаборатория средств специального технического контроля, которая разрабатывает совместно с уральскими заводами современные комплексы радиационного контроля. Ряд таких комплексов принят на вооружение. Б.В.Шульгин и В.А.Петров, как руководители лаборатории, умело используют и внедряют в практику результаты многолетних исследований, начатых Ф.Ф.Гавриловым. По заказам предприятий на кафедре созданы Государственные стандартные образцы сцинтилляционных детекторов на базе германата висмута и фторида кальция. В 90-е гг., используя ускорители заряженных частиц кафедры (циклотрон, микротрон, ЭГ-2,5), внедрены радиационные технологии модификации детекторных материалов, материалов силовой и нелинейной оптики. На канале циклотрона создан люминесцентный канал, позволяющий исследовать ионoluminesценцию и радиационное дефектообразование под воздействием широкого ассортимента тяжелых заряженных частиц. А.В.Кружалов и доцент М.В.Жуковский, создав вузовско-академическую радоновую лабораторию, включились в решение региональных проблем радиозоологического мониторинга.

В рамках научного направления профессора Ф.Ф.Гаврилова вырос коллектив одной из ведущих кафедр УГТУ–УПИ – кафедры экспериментальной физики. В 1994 г. Б.В.Шульгин передал заведование кафедрой своему ученику – заслуженному деятелю науки РФ, профессору А.В.Кружалову. В настоящее время на кафедре работает более 80 сотрудников, (в т.ч. 2 чл. – корреспондента РАН, 10 докторов и 24 кандидата наук), обучается 16 аспирантов и более 260 студентов. Годовой объем НИР составляет 12 – 286 – 15 млн руб., а число научных публикаций 90 – 286 – 120. Последнее десятилетие кафедра экспериментальной физики является одним из лидеров среди выпускающих кафедр УГТУ–УПИ.

Работая подобно звездам, не торопясь, но и не зная отдыха, профессор Ф.Ф.Гаврилов оставил о себе светлую память.